

KIR :一种 TCP 拥塞避免阶段的公平性算法及在 GEO 卫星环境下的仿真

李士宁^{1,2} 官骏鸣³ 覃 征¹

¹(西北工业大学计算机学院 西安 710072)

²(西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)

³(合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230009)

(dtlsn@yahoo.com.cn)

KIR :A New Algorithm to Improve the Fairness of TCP Congestion Avoidance

Li Shining^{1,2}, Guan Junming³, and Qin Zheng¹

¹(College of Computer Science & Engineering, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072)

²(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

³(College of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract The traditional TCP congestion avoidance mechanism has strong bias against links with higher round-trip delays. As the competing TCP connection increase, the fairness and utilization of the sharing link degrades dramatically. The CR, IBK, CANIT examined firstly, and then a new fairness algorithm "K and additive increase ratio" (KIR) is proposed to correct the bias against these long connections. The new algorithm in which a new arithmetic formula "K" is used for the first time smoothly modifies the long and short round-trip delay link congestion avoidance algorithm. A series simulation is chosen and the different algorithm characteristic is analyzed. With these modifications, the simulation result show that the algorithm not only can improve TCP fairness, but can obtain good throughput performance as well. Finally, the effectiveness of KIR is proved by the simulation combined with NewReno, Sack and Tcpw under the GEO satellite environment.

Key words TCP congestion control; fairness; utilization; KIR; GEO satellite

摘 要 传统的 TCP 拥塞避免机制对长时延链接存在歧视,随着竞争流的增加,TCP 共享瓶颈带宽的公平性和有效性降低。在研究 CR,IBK,CANIT 等现有算法的基础上,提出了一个新的均衡公平性算法 KIR(K and additive increase ratio)来纠正对长时延链接的歧视,新算法的思想是在拥塞避免阶段分别对长时延链接与短时延链接的窗口增加方案做了平滑修改,同时经过数学推导,给出一个能够取得较好公平性和带宽利用率的 K 的表达式。通过一系列仿真实验比较了不同公平性机制的性能,分析了它们之间的不同特性,结果显示 KIR 算法不仅能够提高 TCP 公平性,而且取得了比较理想的链路吞吐率。针对地球同步轨道 GEO 卫星环境,在 NewReno,Sack,Tcpw 三种 TCP 拥塞控制机制中对 KIR 算法的有效性进行了仿真验证。

关键词 TCP 拥塞控制;公平性;利用率;KIR;GEO 卫星

中图法分类号 TP393

TCP 协议采取的是 AIMD (additive increase and multiplicative decrease) 的拥塞窗口 $cwnd$ (congestion window) 机制,长时延链接与短时延链接相比,TCP 打开窗口的速率慢了许多.如果瓶颈链路是由不同 RTT 的链接来共享的,短时延的链接获得的带宽份额较多.为了减小对长时延链接的歧视,提出了许多算法,这些算法的核心思想是设法让长时延链接打开窗口的速度相对提高一些.

Floyd 提出了常速率 CR (constant-rate) 窗口增加算法^[1],建议每个链接在一个 RTT 时间内增加 $C \times R^2$ 个报文段, C 表示一个确定的值, R 表示平均往返时延(包括队列时延),但是选择恰当的 C 值存在困难. C 取值过小导致不能充分利用网络带宽, C 取值过大则链接太具有侵占性^[2].

IBK^[3] (increase by K) 方案建议在拥塞避免阶段,对高于给定 RTT 值的链路,拥塞窗口在每个 RTT 内增加 K 个包,IBK 方案使得长时延链接变得更加富有侵占性. IBK 方案仅对长时延链路的窗口增加机制做了修改,未对短时延做任何处理,导致短时延链接与长时延链接同时发送大量的数据包,增加了瓶颈链路处的丢包失率.

CANIT^[4] 算法力争使所有的共享链路,在相同的时间间隔 NIT (normalized interval of time) 内增加相同的包,接收到每个 ACK 后,增加 $\frac{RTT}{NIT} \times \frac{1}{CWND}$ 个包,其中 $RTT_{\min} \leq NIT \leq RTT_{\max}$, NIT 一般取 RTT_{\min} . 仿真表明 CANIT 取得了较好的效果,但其对关键参数 NIT 的分析不够,会导致长时延链路中,每个 RTT 增长过快会引起多包丢失.

另外,TCP 协议的公平性受网络层和 MAC 层协议影响也很大^[5],通过下层协议的调整也可以有效提高 TCP 协议的公平性,例如在 IP 层通过主动队列管理机制也可以降低 RTT 较大连接的丢包率,提高连接占用带宽的公平性^[6].

文献[7]对 CR,IBK,CANIT 算法在 SL (slow links) 链路、LTN (long thin networks) 网络下的性能进行了研究.认为这些算法引起了最后一跳路由器的缓存区溢出,反而导致传输性能下降,此时应该将 CR,IBK,CANIT 算法去掉.本文认为 CR,IBK,CANIT 算法作为多年的 TCP 公平性的代表性成果,有许多思想值得借鉴继承.出现此种现象主要是由于对短时延链接增长抑制不够,导致长时延链接都强势增加速率,在瓶颈链路处出现“恶性”竞争.

1 KIR 算法

1.1 算法设计

不同时延的竞争链接共享一个采用 DropTail 算法的网关时,稳定状态流的吞吐量与其时延的平方成反比^[8];不同时延的竞争链接共享一个采用 RED 算法的网关时,竞争流的带宽之比与它们的时延成反比^[9];在多个链接共享一个瓶颈链路的情况,通过建立 Markov 模型,分析比较路由器上的算法 RED 和 Drop Tail 的性能,发现 RED 算法能够提供更为优秀的公平性^[10];通过对带宽分配与时延的估计,研究者发现链接占有的带宽与其时延基本成反比^[11].综合以上观点,提出新的公平性算法:

1) 网关采用 RED 算法,这样不同的时延吞吐量与其 RTT 成反比.

2) 通过函数 $\frac{RTT}{RTT_{\max}} \times \frac{K}{CWND}$,使短时延链接的速度得到一个合理的抑制.一般情况下,改进算法比较忌讳对发送速度进行抑制,这会导致改进算法性能在短时延链接节点的性能下降,使人们感觉不好.由于瓶颈带宽是固定的,如果仅提高长时延链接速率,虽然可以从短时延链接中“抢占”到一定带宽,由于短时延链路没有做合理的退让,长短时延在瓶颈链路处出现竞争,导致瓶颈链路的缓冲区溢出,反而导致传输性能的下降^[7].

3) 实现对长短时延的分别处理,采用 KIR (K and additive increase ratio) 来实现对长短延时的窗口增加方案的优化,方法为

$$H(RTT < RTT_{\text{threshold}}) \text{ then } CWND = CWND + \frac{RTT}{RTT_{\max}} \times \frac{K}{CWND};$$

$$\text{else } CWND = CWND + \frac{4}{CWND};$$

算法中 $RTT_{\text{threshold}}$ 是区分长时延链接与短时延链路的界限值,IBK 中,作者认为 100ms 较为合理,本文也取值为 100ms; RTT_{\max} 是所有短时延链路的 RTT 的最大值,在短时延链路中,部分抵消了吞吐量与 RTT 成反比的影响;本文算法借鉴前人的研究成果,令所有长时延连接在每个 RTT 时间增加 4 个报文段^[3],KIR 目标是让算法达到公平性与链路利用率的共赢.

1.2 参数 K 的仿真实验

实验中 K 设定了不同的值,观察公平性参数及

链路利用率随之变化的曲线图. 可以看到, 当采用 KIR 算法时, 性能参数(公平性、链路利用率)都明显地优于采用传统 TCP 拥塞避免算法(表示为 CA)时的结果.

由图 1 可知, 当 $K = 0.5$ 时, 公平性取最大值, 随着 K 值的增大, 公平性参数逐渐减小. 这是因为此时短时延链路窗口增加幅度逐渐增大, 占用了较多的链路带宽资源. 对于 $K < 0.5$ 情况下, 短时延链路的窗口增加幅度过小, 带宽的分配也不合理. 从图 2 可以看出, KIR 算法的利用率大于传统的拥塞避免方案的带宽利用率, 当 K 取值在 0.5 和 2 之间时, 带宽利用率较高. 如果 $K > 4$, 则超过了所有长时延连接在单位 RTT 时间的窗口增加数目, 会对资源的利用造成影响. 所以 $K = 0.5$ 时, 网络的公平性和源端利用率能够取得较好平衡.

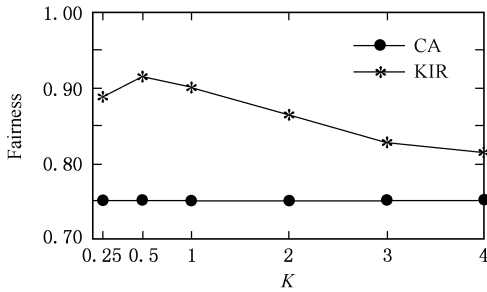


Fig. 1 Impact of K value on KIR fairness.

图 1 K 值对 KIR 公平性的影响

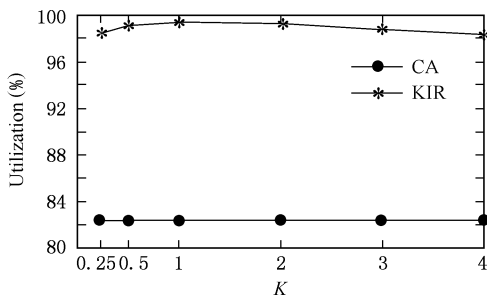


Fig. 2 Impact of K value on link utilization.

图 2 K 值对 KIR 链路利用率的影响

2 KIR 算法中 K 值的数学分析

图 3 所示为一个典型的多流竞争的系统模型, 有 m 个竞争流共享单向传播时延为 τ 的瓶颈链路. 在反向链路上接收端对每一个成功到达的包都有一个确认, 网关采用 RED 算法. 第 j 个流到网关的单向传播时延是 τ_j , 它们之间的网络容量为 μ_j , 若正

反向传播时延一样. 则对第 j 个连接的往返时延 (包括传播时延、传输时间, 不包含排队时间): $rtt_j = \frac{1}{\mu_j} + \frac{1}{\mu} + 2(\tau_j + \tau)$.

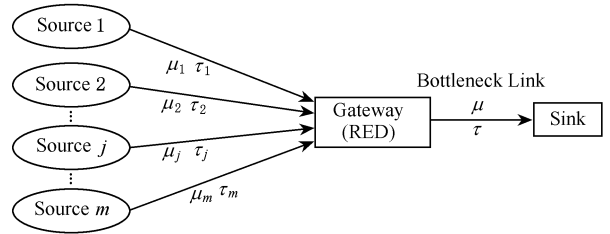


Fig. 3 Network topology structure.

图 3 网络拓扑结构

为便于分析, 对模型做如下假设:

- 1) 所有的源端在同一时间开始传送报文段, 并且所有的包大小相同(队列长度用包数目表示);
- 2) 所有的源端都以 3 个重复的 ACK 来检测包丢失, 允许忽略超时和慢启动的影响.

参数定义如下:

$W_j(t)$: 第 j 个 TCP 连接在时刻 t 的瞬时窗口大小^[12];

ss_j : 第 j 个连接的慢启动门限;

t_0^j : 当连接 j 的窗口 $w_j(t)$ 到达 ss_j (即连接进入拥塞避免) 的时刻^[12];

μ_{\min}^j : 第 j 个连接和缓冲链路容量的最小值, 即 $\mu_{\min}^j = \min(\mu_j, \mu)$;

p_j : 第 j 个连接的单向传播时延, 即 $p_j = \frac{rtt_j}{2}$.

在拥塞避免阶段, 源端接收到每一个 ACK 后: 根据文献 [12] 对长时延链路给出的数学公式,

可以写出 $\frac{dW_j(t)}{dt} = \frac{4}{rtt_j}$, 对于短时延链路, 可以写出 $\frac{dW_j(t)}{dt} = \frac{K}{rtt_{\max}}$.

所以, 对短时延链路, 依赖选定的参数 K , 下面对 K 的取值进行分析.

理想的情况下, 所有链接从时刻 0 开始传输数据, 可以知道慢启动在时刻 t_0^j 结束, 进入拥塞避免阶段:

$$t_0^j = rtt_j \times \log_2 ss_j = \left[\frac{1}{\mu_j} + \frac{1}{\mu} + 2(\tau_j + \tau) \right] \times \log_2 ss_j. \tag{1}$$

可以得到两种链路在时刻 t 时瞬时的窗口大小如下:

长时延链路

$$W_j(t) = \int_{t_0^j}^t \frac{4}{rtt_j} dt + ss_j. \quad (2)$$

短时延链路

$$W_j(t) = \int_{t_0^j}^t \frac{k}{rtt_{max}} dt + ss_j = \frac{k}{rtt_{max}}(t - t_0^j) + ss_j. \quad (3)$$

(打开的窗口不能超过链路的瓶颈容量)

根据以上结论,在进入拥塞避免后 Δt 时间,每条链路在获取网络资源的额度

$$f_j = \int_{t_0^j}^{t_0^j + \Delta t - p_j} W_j(t) dt. \quad (4)$$

每条链路在进入拥塞避免后,理想情况下网络带宽可以得到充分利用,为使 K 值满足此需求,每条链路最大可以获取 μ/m 的带宽,可以得到下面的式子:

长时延链路

$$\Delta t_j = \frac{rtt_j}{4} \left(\frac{\mu}{m} - ss_j \right). \quad (5)$$

短时延链路

$$\Delta t_j = \frac{rtt_{max}}{k} \left(\frac{\mu}{m} - ss_j \right). \quad (6)$$

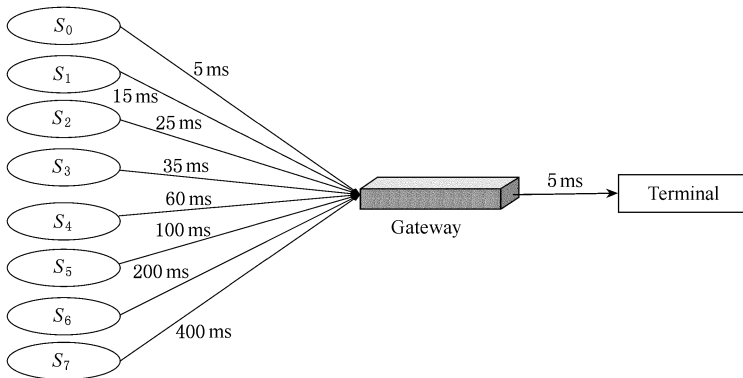


Fig. 4 Simulation network topology structure.

图 4 仿真网络拓扑图

在图 4 中,设置了 8 个源端与网关建立链接,传播时延分别是:5ms,15ms,25ms,35ms,60ms,100ms,200ms,400ms,每个链路的带宽为 1Mbps,共享链路的传播时延为 5ms,带宽为 2Mbps,ACK 的链路传播时延与前向链路时延相同,可知各个链接的 RTT 值为 20ms,40ms,60ms,80ms,130ms,210ms,410ms,810ms. 仿真中,数据包尺寸固定在 1000b, RTT 的时钟粒度为 10ms,每次仿真运行 100s,仿真工具采用 NS2 (network simulator version2).

求在进入拥塞后 Δt 时间后每条链路占有的带宽,如果 $\Delta t > \Delta t_j$ 表示链接已经历过第 1 次拥塞避免阶段,则:

$$f_j = \begin{cases} f_j^- = \int_{t_0^j}^{t_0^j + \Delta t - p_j} W_j(t) dt + ss_j, & \Delta t < \Delta t_j, \\ f_j^+ = \int_{t_0^j}^{t_0^j + \Delta t - p_j} W_j(t) dt + ss_j + \frac{\mu}{m} \times (\Delta t - \Delta t_j), & \Delta t > \Delta t_j. \end{cases} \quad (7)$$

在式(7)中,为了便于表达,令所有的慢启动门限 $ss_j = c$,所有连接的往返时延满足 $rtt_1 \leq rtt_2 \leq \dots \leq rtt_m$,这样通过式(5)(6)易得 $\Delta t_1 \leq \dots \leq \Delta t_m$.

将式(7)代入到拥塞避免阶段某个瞬时时间 t 时的公平性和带宽利用率的公式,可以计算出 KIR 算法中参数 K 的值.

3 KIR 算法性能仿真

网络拓扑中运用了 8 个具有不同传播时延的链接,共享一个瓶颈链路.如图 4 所示:

链路 S_0 到链路 S_7 ,链路时延逐步增加,为典型的短时延链接到长时延链接的变化过程.图 5 显示了 TCP 传统拥塞避免算法(CA)与改进 KIR 算法的拥塞窗口的变化比较,随着链路时延的逐步增加,KIR 算法在链接的拥塞窗口 $RTT > 100ms$ 后,提高了长时延链路拥塞窗口的增加幅度,增加了其长时延链接在共享瓶颈链路中的所占带宽.针对短时延链接,KIR 进行了合理的抑制,使短时延链接的吞吐量与长时延链接的吞吐量接近,达到了较理想的公平性.

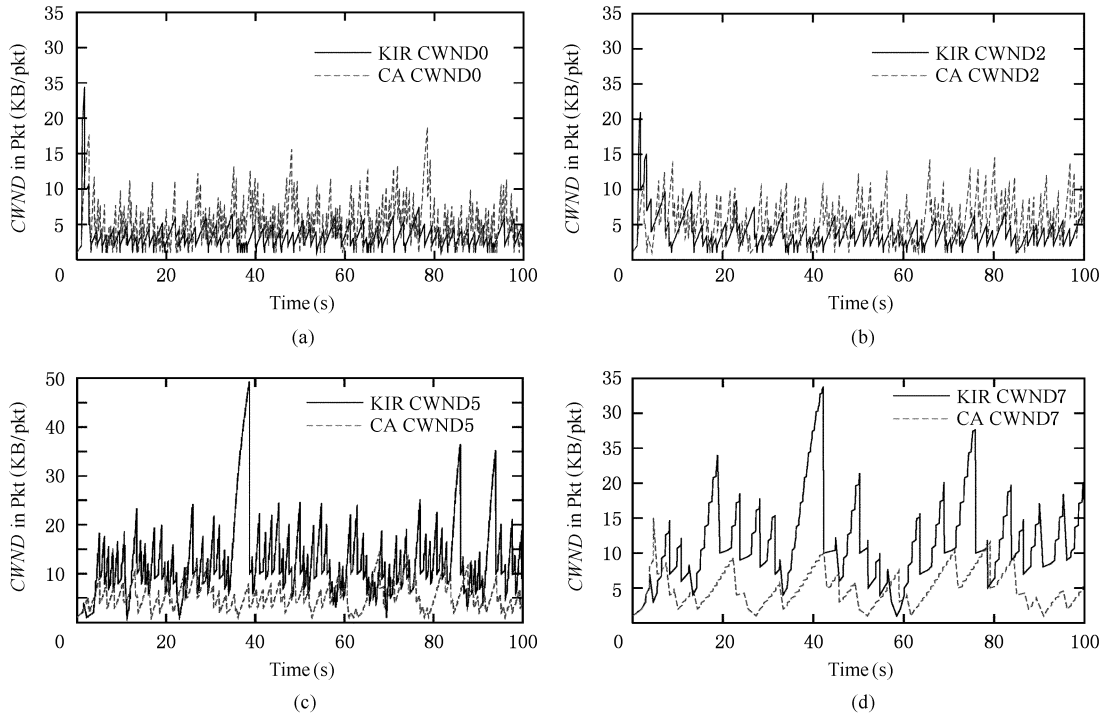


Fig. 5 KIR/CA window change comparison of S_0 , S_2 , S_5 and S_7 . (a) KIR/CA window change comparison of S_0 ; (b) KIR/CA window change comparison of S_2 ; (c) KIR/CA window change comparison of S_5 ; and (d) KIR/CA window change comparison of S_7 .

图5 S_0 , S_2 , S_5 , S_7 的 KIR/CA 窗口变化比较。(a) S_0 的 KIR/CA 窗口变化比较 (b) S_2 的 KIR/CA 窗口变化比较 (c) S_5 的 KIR/CA 窗口变化比较 (d) S_7 的 KIR/CA 窗口变化比较

表 1 显示了不同链路吞吐量在多种算法下的比较。KIR 与其他算法相比,不仅使长时延链路的吞吐量有较大的提高,而且对短时延的链路做了适度的抑制。瓶颈链路处公平性是最重要的参数,不能盲目提高链路速率。从总的吞吐量来看,4 种算法都对瓶颈链路做到了充分利用。在长时延链路中,每个 RTT 增长过多会引起多包丢失,KIR 算法对所有长时延连接在每个 RTT 时间增加 4 个报文段,从表 1 中可以看到 KIR 算法中链接 S_4 , S_5 , S_6 , S_7 链接吞吐量得到了提高,由于 $S_0 \sim S_7$ 的吞吐量总计没有降低,所以 KIR 算法没有因为提高长时延链接的速率使中间节点的缓存区大量溢出,导致大量数据丢失和重发,吞吐量降低。

表 2 显示了在网络中分别使用传统算法(CA), IBK, CANIT, 均衡公平 4 种算法所获得的公平性参数与带宽利用率的比较。可以看到,在相同的情况下,均衡公平性算法的公平性最高, CANIT 其次。在带宽利用率上,4 种算法获得的利用率相差很小,都是在 97% 以上。所以 KIR 算法不仅能够提高 TCP 公平性,同时也保持了比较理想的链路吞吐率。

Table 1 Throughput Comparison of Four Arithmetics in Different RTT

表 1 四种算法在不同链路下的吞吐量比较

RTT (ms)	Arithmetic			
	CA	IBK	CANIT	KIR
40	416486	345086	346192	274101
60	348865	300500	307011	234919
80	291699	242106	301496	225500
130	208401	290708	233050	333698
210	149912	215609	196789	312465
410	80274	117504	128600	192905
810	42781	61993	83389	87121
Total	1996448	1990347	1985518	1981851

Table 2 Fairness and Link Utilization Comparison of Four Arithmetics

表 2 四种算法的公平性参数与带宽利用率的比较

Arithmetic	Fairness	Utilization (%)
KIR	0.92	97.1
CA	0.73	97.2
IBK	0.84	97.6
CANIT	0.86	97.4

针对高误码率环境,本文选择链路 S_6 , S_6 是次长时延链路,可以检验 KIR 算法的性能。表 3 显示了 KIR 算法与传统算法(CA)在链接 S_6 误码率(BER)从 $1E-4$ 到 $1E-9$ 情况下的表现,虽然链路的误码率较高,但 KIR 算法依然能够提供较高的公平性,此特性对高丢失率且带宽时延乘积较大的链路(如卫星链路)很重要。

Table 3 Relation Between BER and Fairness of KIR/CA

表 3 均衡公平算法/传统算法误码率与公平性的关系

BER	KIR	CA
$1E-9$	0.92	0.78
$1E-8$	0.91	0.77
$1E-7$	0.90	0.76
$1E-6$	0.89	0.75
$1E-5$	0.85	0.70
$1E-4$	0.73	0.63

4 KIR 算法在 GEO 卫星链路中的性能仿真

卫星链路是一个粗管道,为了填满管道,窗口至少达到带宽时延乘积^[13],传统 TCP 的接收端窗

口不超过 64KB,制约了系统的吞吐量,虽然扩大窗口选项可以解决这个问题,但是窗口扩大后,在一个窗口内经常会出现多个数据包丢失的情况,导致性能下降。通过配置适应卫星长时延、高误码率和非对称信道环境的专有通信协议,可以较好地解决 TCP 协议在卫星环境中的性能下降问题^[14],但必须在卫星接入网关处进行协议转换。

GEO 卫星的往返时间超过 500ms,是典型的长时延链路,是 KIR 算法的典型应用环境之一。下面研究 KIR 算法在卫星环境下的性能,讨论 KIR 算法分别与 3 种具体 TCP 机制 TCP NewReno, TCP Sack, TCPw(TCP Westwood)^[15]结合时的性能表现。

仿真拓扑结构如图 6 所示,考虑了卫星环境。图 6 中有 4 个源端,其中 Source 1 为 GEO 卫星,其余链路的时延分别为 5ms, 35ms, 100ms。带宽均为 10Mbps,瓶颈链路的传播时延为 5ms,带宽为 1.5Mbps。仿真中,数据包的尺寸固定在 1000b, RTT 的时钟粒度为 10ms,网关采用的是 RED 算法,权值 W_q 为 0.002,最小队列长度 min_{th} 为 5 个包,最大队列长度 max_{th} 为 15 个包,最大丢弃概率 max_p 为 0.002。网关路由缓冲设为 50 个包,每个仿真运行 100s。

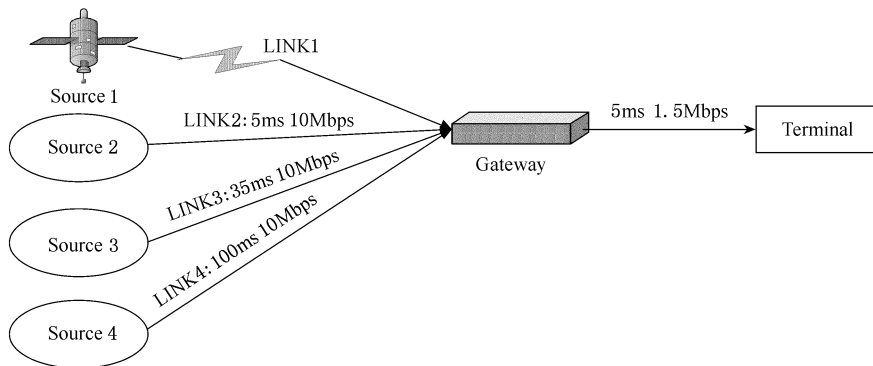


Fig. 6 Network topology structure including satellite link.

图 6 包含卫星链路的网络拓扑结构图

4.1 GEO 卫星链路的仿真结果

表 4 和表 5 给出了 3 种算法采用均衡公平性前后几种 TCP 机制的公平性与链路利用率的比较。

Table 4 Fairness Comparison of Three TCP Arithmetics with and Without KIR

表 4 采用 KIR 算法前后 3 种 TCP 机制的公平性比较

Arithmetic	NewReno	SACK	TCPW
Without KIR	0.83	0.95	0.96
With KIR	0.96	0.97	0.98

表 5 可以看出,几种 TCP 机制的公平性都有不同程度的提高,其中 NewReno 的公平性提高幅度较大。表 5 可以看出, KIR 算法没有损害网络的资源利用率,所以 KIR 算法使 TCP 的公平性和带宽利用率得到了共同提高。

表 6 和表 7 显示了瓶颈缓冲区大小对均衡公平性算法公平性和带宽利用率的影响。可以看到基本上呈现一个增加再减小的变化过程,这是因为如果路由缓冲比较小,则不能容纳突发的数据包而大量丢包,导致重传、吞吐量的下降;路由缓冲设置过大,

能够缓存大量数据包,但是加大了排队时延,导致吞吐量的下降.采用了 KIR 算法不能完全消除缓冲区设置对网络性能的影响,但是对网络参数改变较小,没有在瓶颈链路缓存区导致大量数据溢出,使算法性能下降^[7].

Table 5 Link Utilization Comparison of Three TCP Arithmetics with and Without KIR

表 5 采用 KIR 算法前后 3 种 TCP 机制的链路利用率比较

Arithmetic	NewReno	SACK	TCPW
Without KIR	0.96	0.90	0.97
With KIR	0.97	0.92	0.97

Table 6 Fairness Comparison of Different TCP Arithmetics with Different Buffer Sizes

表 6 不同路由缓冲区大小下不同 TCP 算法的公平性比较

Buffer Sizes (pkt)	NewReno with KIR	SACK with KIR	TCPW with KIR
20	0.95	0.94	0.97
60	0.97	0.96	0.98
90	0.96	0.95	0.98

Table 7 Link Utilization Comparison of Different TCP Arithmetics with Different Buffer Sizes

表 7 不同路由缓冲区大小下不同 TCP 算法的带宽利用率比较

Buffer Sizes (pkt)	NewReno with KIR	SACK with KIR	TCPW with KIR
20	0.98	0.91	0.97
60	0.99	0.92	0.98
90	0.98	0.90	0.97

5 结 论

在研究 CA, IBK, CANIT 等现有算法的基础上,提出了一个新的均衡公平性算法 KIR, KIR 在拥塞避免阶段分别对长时延链接与短时延链接的窗口增加方案做了平滑修改.通过仿真,比较了不同拥塞控制机制的公平性,分析了它们之间的不同特性,结果显示 KIR 算法不仅能够提高 TCP 公平性,同时能够兼顾链路吞吐量要求.最后在地球同步轨道卫星环境下,对 KIR 算法的有效性进行了仿真验证.

参 考 文 献

- [1] S Floyd. Connections with multiple congested gateways in packet switched networks, part 1: One-way traffic [J]. ACM Computer Communications Review, 1991, 21(5): 30-47
- [2] T Henderson, E Sahouria, S McCanne, *et al.* On improving the fairness of TCP congestion avoidance [C]. IEEE GLOBECOM 1998, Sydney, 1998
- [3] T R Henderson, R H Katz. TCP performance over satellite channels [R]. University of California Berkeley, Tech Rep: CSD-99-1083, 1999
- [4] H Benaboud, N Mikou. CANIT: A new algorithm to improve the fairness of TCP congestion avoidance [C]. The 6th IEEE Symp on Computers and Communications (ISCC '01), Tunisia, 2001
- [5] S Pilosof, R Ramjee, D Raz, *et al.* Understanding TCP fairness over wireless LAN [C]. IEEE INFOCOM 2003, San Francisco, 2003
- [6] Tang Deyou, Luo Jiawei, Zhang Dafang, *et al.* Active queue management improving the stability and fairness [J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(7): 1136-1142 (in Chinese)
(汤德佑, 骆嘉伟, 张大方, 等. 一种提高稳定性和公平性的主动队列管理机制 [J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(7): 1136-1142)
- [7] V Obanaik, L Jacob, A L Ananda. Effect of algorithms that improve fairness of TCP congestion avoidance on performance of slow links and long thin networks [C]. ICCCN 2002, Miami, USA, 2002
- [8] S Keshav. Flow control in high-speed networks with long delays [C]. INET 1992, Kobe, Japan, 1992
- [9] Abouzeid, S Roy. Analytic understanding of RED gateways with multiple competing TCP flows [C]. IEEE GLOBECOM 2000, San Francisco, 2000
- [10] Go Hasegawa, Kouichi Tokuda, Masayuki Murata. Analysis and improvement of fairness among many TCP connections sharing tail-drop and RED routers [C]. INET 2002, Virginia, 2002
- [11] A Mathis, J Semke, J Mahdavi, *et al.* The macroscopic behavior of the TCP congestion avoidance algorithm [J]. Computer Communication Review, 1997, 27(3): 67-82
- [12] H Benaboud, A Berqia, N Mikou. Analytical study of CANIT algorithm in TCP protocol [J]. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2002, 30(3): 20-22
- [13] T Lakshman, U Madhow. The performance of TCP/IP for networks with high bandwidth-delay products and random loss [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1997, 5(3): 336-350
- [14] Huo Longshe, Zheng Yanfeng, Gao Wen. A distributed PEP-based TCP performance enhancing protocol for satellite networks [J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(4): 647-654 (in Chinese)
(霍龙社, 郑燕峰, 高文. 基于分布式 PEP 的卫星网络 TCP 性能增强协议 [J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(4): 647-654)
- [15] Mascolo, S Casetti, C Gerla, *et al.* TCP westwood: End-to-end bandwidth estimation for efficient transport over wired and wireless networks [C]. MOBICOM 2001, Rome, Italy, 2001



Li Shining, born in 1967. Ph. D. and associate professor. His main research interests are mobile computing and wireless sensor network.

李士宁,1967 年生,博士,副教授,主要研究方向为移动计算、无线传感器网络。



Qin Zheng, born in 1956. Professor and Ph. D. supervisor. His main research interests are software architecture, mobile computing and E-commerce.

覃征,1956 年生,教授,博士生导师,主要研究方向为软件体系结构、移动计算、电子商务。



Guan Junming, born in 1979. Ph. D. candidate. His main research interests include computer networks.

官骏鸣,1979 年生,博士研究生,主要研究方向为计算机网络。

Research Background

Traditional TCP congestion avoidance mechanism has bias against links with higher round-trip delays. As competing flow increases, the fairness and utilization of TCP sharing bottleneck bands degrade dramatically. Many protocols are proposed to relieve the bias and to improve the fairness of links. The key idea of these protocols (for instance, constant-rate, IBK (increase by K), CANIT, etc) is to increase the rates when opening the windows of those high round-trip delay links. However, as they don't suppress the links with low round-trip delays essentially, this may result in vicious competition in the bottleneck links. In this paper, a new fairness algorithm is proposed. This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (60573161), and the Shaanxi Province Tenth Five-Year Key Technology R & D Programme (No. 2000K082-G12).

《计算机研究与发展》简介

《计算机研究与发展》是中国科学院计算技术研究所和中国计算机学会联合主办、中国科学杂志社出版的学术性刊物、中国计算机学会会刊。主要刊登计算机科学技术领域高水平的学术论文、最新科研成果和重大应用成果。读者对象：各行业、各部门从事计算机研究与开发的研究人员、工程技术人员、各大专院校计算机专业及其他相关专业的师生和研究生。

《计算机研究与发展》于 1958 年创刊,是我国第一个计算机刊物,现已成为我国最有影响的计算机学术期刊之一,并历次被评为我国计算机类核心期刊及国务院学位办指定的评估学位与研究生教育的“中文重要期刊”。此外,还被《中国学术期刊文摘》、《中国电子科技文摘》、《中国科学引文索引》及“中国科学引文数据库”、国家科委“中国科技论文统计源数据库”等国家重点检索机构列为引文刊物;并成为美国工程索引(EI)检索系统、日本《科学技术文献速报》、俄罗斯《文摘杂志》和英国《SA》收录的期刊。此外本刊历届被我国权威评估机构评为“百种中国杰出学术期刊”。

为了方便广大作者和读者,从 1997 年开始我编辑部实行了数据库管理、网络投稿、网络审稿、网络查询等全部自动化管理。为了扩大本刊的影响,从 1998 年开始,期刊的中英文摘要全部上网;从 2005 年开始,实现网上全文检索。

欢迎订阅,欢迎投稿。

来函请寄:100080 北京 2704 信箱《计算机研究与发展》编辑部

国内邮发代号:2-654;国外发行代号:M603

国际标准刊号:ISSN1000-1239

国内统一刊号:CN11-1777/TP

电话(010)62620696;62600350

Email:crad@ict.ac.cn

http://crad.ict.ac.cn